植 物 分 类 与 资 源 学 报 2014, **36** (2): 237~244
Plant Diversity and Resources DOI: 10.7677/ynzwyj201413086

中国珍稀药用植物白及的潜在分布与其气候特征*

龚 晔[1], 景鹏飞[1], 魏宇昆[2], 黄卫昌[2], 崔浪军[1**]
(1 药用植物资源与天然药物化学教育部重点实验室, 陕西师范大学生命科学学院, 陕西 西安 710010; 2 上海辰山植物园, 上海 201602)

摘要: 基于白及 (*Bletilla striata*) 地理分布信息和影响白及分布的主导气象因子, 利用最大熵模型和地理信息系统预测了中国白及的潜在分布与其气候特征。结果表明: 所建模型经 ROC 曲线验证, 预测效果非常好 (AUC > 0.9); 中国白及潜在分布区主要位于秦岭、淮河以南大部分地区, 白及主要适生省份为云南、湖北、四川、湖南、江西、浙江; 刀切法测试表明, 4 月和 10 月最低气温、年温度变化范围、11 月平均降水量为影响白及潜在分布的最主要气象因子。研究结果可为白及资源的调查、保护与人工种植产业的发展提供理论指导。

关键词: 白及; 最大熵模型; 地理信息系统; 潜在分布; 气象因子
中图分类号: Q 948.11 **文献标识码**: A **文章编号**: 2095-0845(2014)02-237-08

Potential Distribution of *Bletilla striata* (Orchidaceae) in China and Its Climate Characteristics

GONG Ye[1], JING Peng-Fei[1], WEI Yu-Kun[2], HUANG Wei-Chang[2], CUI Lang-Jun[1**]
(1 *Key Laboratory of Medicinal Plant Resources and Natural Pharmaceutical Chemistry* (*Shaanxi Normal University*), *Ministry of Education*, Xi'an 710010, China; 2 *Chenshan Botanical Gargen*, Shanghai 201602, China)

Abstract: The potential distribution of *Bletilla striata* and its climate characteristics was predicted with MaxEnt model and ArcGIS. The data was based on the information of geographic distribution of the plant and its dominant climate factors. The results showed that the model built by dominant climate factors had an ideal forecasting effect, which was tested by the ROC curve (AUC > 0.9). The model revealed that the potential distribution areas were mainly in the south of the Qinling Mountains and Huai river. The major suitable provinces for the plant were mainly restricted to Yunnan, Hubei, Sichuan, Hunan and Jiangxi. A jackknife test in MaxEnt suggested that Min temperature of Apr (tmin4), Min temperature of Oct (tmin10), Temperature annual range (bio7) and Precipitation of Nov (prc11) were the most important climate variables affecting the potential distribution of the plant. The results can provide some theoretical basis for the resources protection, germplasm collections and reasonable development and utilization of wild *Bletilla striata*.

Key words: *Bletilla striata*; MaxEnt model; ArcGIS; Climate factors; Potential distribution

中药材白及为兰科白及属植物白及 [*Bletilla striata* (Thunb.) Reichb. f.] 的干燥块茎, 又名白芨、苞舌兰、连及草、白根 (王晓敏等, 2011), 被历版《中国药典》收录 (武广华等, 2001)。白及作为我国传统珍稀名贵中药, 含有白及多糖、联苄类、菲类等主要有效成分 (任华忠等, 2009), 具有止血收敛、消肿生肌、延缓皮肤衰老之功效, 广泛应用于医药、化妆品领域 (和

* 基金项目: 科技部科技惠民计划项目 (2012GS610102)、上海市绿化和市容管理局科学技术项目 (F132439) 资助
** 通讯作者: Author for correspondence; E-mail: ljcui@snnu.edu.cn
收稿日期: 2013-04-12, 2013-07-10 接受发表
作者简介: 龚 晔 (1988-) 男, 硕士研究生, 研究方向: 从事药用植物资源研究; E-mail: 524261148@qq.com

志娇等，2008；王晓敏等，2011；周涛等，2008）。此外，白及花色艳丽，观赏价值极高，是我国著名花卉品种（王晓敏等，2011）。

白及在我国分布范围较广，北起江苏、河南，南至台湾，东起浙江，西至西藏东南部察隅。近年来贵州安龙、湖南大庸等地陆续开始人工种植白及，但主要靠分株繁殖，其繁殖速度较慢、繁殖系数较低、成本高昂，严重限制了白及规模化生产种植（和志娇等，2008）。目前我国药材市场上的白及主要来源于野生资源。近几年随着白及价格飞涨、供需矛盾突出，野生资源破坏愈加严重，加之白及种子细小、萌发率极低、自然繁殖困难且生长缓慢，我国野生白及急剧减少，濒临灭绝（周涛等，2008）。目前，白及不仅已被列入国家珍稀濒危植物加以保护，而且还收载于濒危野生动植物国际贸易公约附录二中（和志娇等，2008）。周涛等（2008）对贵州野生白及种群，石晶等（2010）对湖北、湖南、云南、四川、贵州、浙江、江西以及安徽8个省份的人工种植白及进行了全面调查，结果表明调查区野生白及均存在资源锐减、濒临灭绝、人工栽培规模小、品质低等诸多问题。但对于全国范围内白及的地理分布格局等研究尚十分缺乏。

MaxEnt模型是根据物种现实分布点地理坐标和物种分布地区的环境变量运算得出预测模型，再利用此模型模拟目标物种在目标地区的可能分布情况（Phillips等，2004）。Jaynes于1957年提出最大熵理论可应用于概率密度评估，在生态学中表达为一个物种在没有约束的情况下，会尽最大可能扩散蔓延，接近均匀分布（Phillips等，2006）。目前已有多种预测物种潜在分布的模型，并得到了广泛应用，如CLIMAX、GARP、MaxEnt、ENFA、Bioclim、Domain等（曹向锋，2007）。MaxEnt模型虽应用时间相对较短，但其已被广泛应用于农作物（段居琦和周广胜，2011）、保护生物（齐增湘等，2011）以及入侵物种的潜在分布预测（冯益明等，2009；冯益明和刘洪霞，2010；郭水良等，2011；Li等，2008）等方面。大多数研究表明在预测物种分布时，MaxEnt模型较同类其他模型更优良（王运生等，2007；Li等，2008），在进行物种适生性分析与评价时，也只需要物种“出现点”的数据，并且即使在出现点数据较少的情况下，也具有较高的预测精度（冯益明等，2009）。

本文结合现有白及地理分布数据和相关的气象数据，利用MaxEnt模型结合ArcGis软件对我国白及分布进行了预测，以期为我国白及资源的调查、保护与人工种植产业的发展提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 数据收集

1.1.1 *白及地理分布数据的获取与处理* 通过查阅全球生物多样性信息机构（GBIF）（http://www.gbif.org/）、中国数字标本馆（CVH）（http://www.cvh.org.cn/cms/）、教学标本标准化整理整合与资源共享平台（http://mnh.scu.edu.cn/）、中国自然保护区资源平台（http://www.papc.cn/）、中国自然标本馆（CFH）（http://www.nature-museum.net/），初步得到571条白及分布数据。其中，GBIF中328条，CVH中76条［中国科学院成都生物研究所标本馆（CDBI）10条，河南师范大学标本馆2条，中国科学院西双版纳热带植物园标本馆（HITBC）1条，中国科学院西北高原生物所标本馆（HNWP）2条，广西植物研究所标本馆（IBK）13条，中国科学院沈阳应用生态学研究所标本馆（IAE）1条，中国科学院昆明植物研究所标本馆（KUN）16条，江西省中国科学院庐山植物园标本馆18条，西北农林科技大学植物标本馆（WUK）13条］，CFH中26条，教学标本标准化整理整合与资源共享平台131条，中国自然保护区资源平台10条。

将初步获得的以上数据除去重复的和记录信息在县级以上行政单位范围内的记录点，然后，将记录信息在县级或县级以下行政单位范围内的没有经纬度的记录点进行经纬度坐标查询。最终，得到中国范围内的白及分布数据174条。

1.1.2 *气象因子* 气象因子数据来源于世界气候数据库（http://www.worldclim.org），精度为2.5 arc min（0.5 arc min=30 arc sec=0.93 km）。该数据库包括的降水记录数据取自全球47 554个站点，平均温度数据取自14 835个站点，最高气温和最低气温取自24 542个站点。上述站点提供了最近50年的2大类数据，共计67项（表1）：第1类，bio系列数据；第2类，单月因子（Nabout等，2010）。1∶400万中国地图和中国行政区划图由国家地理信息系统网站（http://nfgis.nsdi.gov.cn/）下载。

1.2 相关软件

本研究主要应用软件包括MaxEnt V3.3.3（http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent）、ArcGIS 9.3和

Goolgle Earth 6.1.0.5001 等。部分地理分布信息由 Goolgle Earth 6.1.0.5001 查询得到，MaxEnt V3.3.3 用于建立模型模拟白及分布情况，ArcGIS 9.3 主要用于对 MaxEnt 所需 ASC 文件的转换和后续预测结果的统计分析等。

1.3　研究方法

基于 MaxEnt 模型和 ArcGIS 软件的空间分析功能等技术的具体研究方法（段居琦和周广胜，2011）如下：

1.3.1　*数据的格式转换和导入*　本研究所需数据包括两部分，分别为白及地理分布数据和潜在气象因子数据。在 Excel 2003 中将白及地理分布数据（其中东经和北纬为正值，西经和南纬为负值）保存为逗号分隔（*.csv）格式；利用 ArcGIS 的 Arctoolbox 模块中 Conversion Tools 将潜在环境因子数据转化成 ESRI ASCII 格式。将白及地理分布数据和潜在气象因子数据分别导入到 MaxEnt 模型中。

1.3.2　*初始模型的建立与预测精度分析*　环境图层中导入的气象因子设定为连续变量（continuous），选择创建回应曲线（Create response curves），选择刀切法（Do jackknife）分析环境变量对白及多度的影响大小，测试集（test data）设定为 25%（43 处分布点），训练集（training data）设定为 75%（131 处分布点），其余选项均采用模型的默认形式。采用受试者工作特征曲线（Receiver operating characteristic curve，ROC 曲线）对预测结果进行精度分析（王运生等，2007）。

1.3.3　*主导气象因子的筛选*　根据初次模拟结果中 67 项潜在气象因子对白及潜在分布影响的贡献率大小，选择贡献率排在前 10 位的气象因子作为影响白及潜在分布的主导气象因子。

1.3.4　*MaxEnt 模型的重新建立与预测结果的精度分析*　将主导气象因子作为新的气象因子重新建立白及分布的 MaxEnt 模型，并对此次模拟结果精度进行评价。

1.3.5　*白及适生区等级划分*　首先，利用 ArcGIS 的格式转换工具 Conversion Tools 将预测结果的 ASCII 格式转化为 Raster 格式，并将中国各省区图层加载到 Raster 格式的预测结果图层上；然后，利用 Spatial Analysis Tools（空间分析工具）中的 Extraction by mask（掩膜提取）提取 32 个省区的白及分布图层；最后，利用 Spatial Analysis Tools 的 Reclassify（重分组）进行白及适生等级划分，得到白及适生等级图层。

1.3.6　*适生面积统计分析*　利用 Spatial Analysis Tools 的 Zonal statistics 功能将白及适生等级图层进行进一步统计分析，得到所研究的中国 32 个省、自治区、直辖市的白及适生等级及各等级下的适生面积。

1.3.7　*主导气象因子权重分析*　筛选出影响白及分布的最主要气象因子。

表 1　影响中国白及分布的潜在气象因子

Table 1　Potential climate factors affecting the distribution of *Bletilla striata* in China

类型 Type	变量代码 Variable code	描述 Description
生物气候因子 Bio-clim factors	bio 1	年均温 Annual mean temperature
	bio 2	平均日较差 Mean diurnal range：mean of monthly（max temp-min temp）
	bio 3	等温性 Isothermality：（bio2/bio7）×100
	bio 4	温度季节性变化系数 Temperature seasonality（SD×100）
	bio 5	最暖月最高温 Maximum temperature of warmest month
	bio 6	最冷月最低温 Minimum temperature of coldest month
	bio 7	年温度变化范围 Temperature annual range（bio5-bio6）
	bio 8	最湿季度平均温度 Mean temperature of wettest quarter
	bio 9	最干季度平均温度 Mean temperature of the driest quarter
	bio 10	最暖季度平均温度 Mean temperature of the warmest quarter
	bio 11	最冷季度平均温度 Mean temperature of coldest quarter
	bio 12	年降水量 Annual precipitation
	bio 13	最湿月降水量 Precipitation of wettest month
	bio 14	最干月降水量 Precipitation of driest month
	bio 15	降水季节性变异系数 Precipitation seasonality（coefficient of variation）
	bio 16	最湿季度降水量 Precipitation of wettest quarter
	bio 17	最干季度降水量 Precipitation of driest quarter
	bio 18	最暖季度降水量 Precipitation of warmest quarter
	bio 19	最冷季度降水量 Precipitation of coldest quarter
单月因子 Monthly factors	tmax 1-tmax 12	1-12 月月最高气温 Max temperature from Jan. to Jul.
	tmean 1-tmean 12	1-12 月月平均气温 Mean temperature from Jan. to Jul.
	tmin 1，tmin 12	1-12 月月最低气温 Min temperature from Jan. to Jul.
	prec 1，prec 12	1-12 月月降雨量 Precipitation from Jan. to Jul.

2 结果与分析

2.1 精度检验

ROC 曲线是以假阳性率即特异度为横坐标，以真阳性率即遗漏率为纵坐标所绘制的曲线。AUC 值指 ROC 曲线与横坐标所围成区域面积的大小，AUC 值越大，表示所预测的分布与随机分布相距越远，气象因子与预测的物种地理分布模型之间相关性越大，即表示模型预测效果越好。预测精度的评估标准参照表 2（Phillips 等，2004）。

表 2 MaxEnt 模型预测精度的评估标准

Table 2 The evaluation criteria of MaxEnt model of predicted accuracy

AUC 值	评价等级 Assement scales
0.50~0.60	失败 Fail
0.60~0.70	较差 Poor
0.70~0.80	一般 Fair
0.80~0.90	好 Good
0.90~1.0	非常好 Excellent

如图 1-A，本研究初次模拟的训练集和测试集的 AUC 值分别为 0.995 和 0.765，表明预测效果一般；如图 1-B，第二次模拟的训练集和测试集的 AUC 值分别为 0.944 和 0.923，说明预测效果非常好，与初次预测结果相比较，第二次的预测更接近于白及的真实分布，表明所构建模型可用于白及潜在分布模拟。

2.2 中国白及潜在分布

利用 MaxEnt 模型和 ArcGIS 软件结合白及地理分布数据和气象因子可得出白及在中国各地区的适生指数（p，即存在概率，取值范围为 0-1）。中国白及潜在分布区主要位于秦岭、淮河以南部分地区，包括云贵高原、成都平原、陕西中南部、长江中下游地区和珠江三角洲地区；在山东大部分地区、河北和山西南部、河南中西部和南部、东北中西部、甘肃东南部、新疆、西藏南部、青海、内蒙古东北部、海南、台湾等地也有少量的潜在分布；宁夏和天津基本无白及的潜在分布（图 2）。

由于我国地域环境变化多样，尽管白及在我国存在广泛的适生区，但在各地区其适生等级有所不同。白及适生区等级划分依据参考 IPCC（政府间气候变化专门委员会）报告（IPCC，2007）关于评估可能性的划分方法，并结合中国范围内白及的实际情况：$P \geq 0.9$ 的地区为高适生区（High suitable area）；$0.66 \leq P < 0.9$ 的地区为较适生区（Suitable area）；$0.33 \leq P < 0.66$ 的地区为边缘适生区（Marginal suitable area）；$0 \leq P < 0.33$ 的区域属于非适生区（Unsuitable area）。

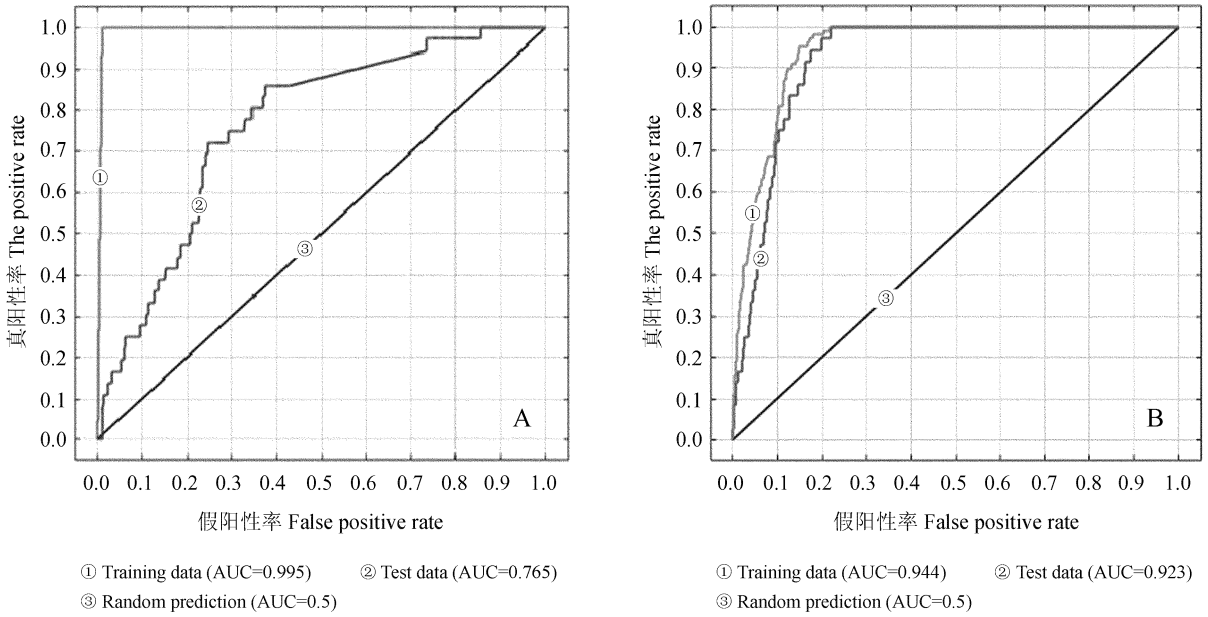

图 1 初次模拟和再次模拟的训练集和测试集的 ROC 曲线

Fig. 1 ROC curve for primary and secondary modeling training data and test data

中国各省、自治区、直辖市的白及适生等级面积情况表明（表 3），白及高适生区主要分布于湖北、湖南、江西、四川、云南、浙江、重庆、广东等地，陕西、江苏、贵州、河南、安徽、山东、甘肃、河北、山东、福建等地也存在少量的高适生区，中国白及高适生区面积总和约 2 134.3 km^2。较适生区主要集中于云南、四川、湖北、湖南、江西、浙江、贵州、广西、重庆、广东、陕西、山东、安徽、江苏、福建、河南、甘肃。除此之外，在山西、西藏、上海、海南、新疆、吉林、河北、台湾等地也存在少量分布，中国白及较适生区面积总和约 12 811.4 km^2。

2.3　白及主要适生区分布

鉴于白及作为濒危药用植物繁殖受到限制的特点，故将白及高适生区和较适生区看做白及主要适生区。本研究选择白及主要适生区面积总和在 800 km^2以上的的省、自治区、直辖市作为白及资源分布研究的重点区域，该区域包括云南（2 378.47 km^2）、湖北（2 056.98 km^2）、四川（1 822.91 km^2）、湖南（1 545.14 km^2）、江西（1 302.90 km^2）、浙江（868.06 km^2）。图 3 表明，白及主要适生区集中于湖北省东部的武汉市、黄陂县一带，东南部的阳新县、通山县一带以及西南部的鹤峰县，湖南省西北部的桑植县、龙山县、永顺县、大庸市一带，江西省中部的峡江县、安福县境内，浙江北部的余杭县、杭州市、萧山市、德清县、诸暨市。云南和四川两省的白及主要适生区分布比较分散，故不对其进行主要适生区分布研究。

2.4　主导气象因子权重分析

在 MaxEnt 模型重建过程中，利用刀切法对主导气象因子（初次建立模型筛选的气象因子）进行分析可以得出影响白及潜在分布的最主要气象因子。从图 4 可以看出，tmin 4（4 月最低气温）、tmin 10（10 月最低气温）、bio 7（年温度变化范围）、prec 11（11 月平均降水量）四项气象因子单独存在时，所建立模型得分最高，因此，这四项气象因子是影响白及潜在分布的最主要气象因子；而 bio 6（最冷月最低温）和 tmin 1（1 月最低气温）单独存在时得分极低，并且遗漏掉 bio 6 和 tmin 1 前后所建模型得分变化不大，这说明 bio 6 和 tmin 1 对白及潜在分布影响相对较小；当分别遗漏掉 bio 4（温度季节性变化系数）和 bio 18（最暖季度降水量）时，遗漏前后所建模型得分差距较大，说明 bio 4 和 bio 18 均含有影响白及分布的重要信息。

表 3　中国 32 个省、自治区、直辖市各级白及适生区面积（单位：km^2）

Table 3　Suitable areas for *Bletilla striata* in China (Units: Square kilometers)

地区 Region	适生等级 Suitability scale				地区 Region	适生等级 Suitability scale			
	非适生区 Unsuitable area	边缘适生区 Marginal suitable area	较适生区 Suitable area	高适生区 High suitable region		非适生区 Unsuitable area	边缘适生区 Marginal suitable area	较适生区 Suitable area	高适生区 High suitable region
湖北 Hubei	169479	3802.08	1493.06	572.92	河北 Hebei	194948	104.16	33.72	33.72
湖南 Hunan	188993	3489.58	1232.64	312.5	山西 Shanxi	159392	156.25	86.81	17.36
江西 Jiangxi	148090	3368.06	1059.03	243.06	福建 Fujian	106997	781.25	190.97	17.36
四川 Sichuan	449896	3368.06	1614.58	208.33	辽宁 Liaoning	155347	34.72	0	0
云南 Yunnan	340087	2170.14	2256.94	121.53	上海 Shanghai	4548.61	138.89	69.44	0
浙江 Zhejiang	80997.2	2013.89	746.53	121.53	海南 Hainan	28628.5	17.36	52.08	0
重庆 Chongqing	33572.92	9722.22	520.83	69.44	内蒙古 Innor Mongoli	1289580	69.44	0	0
广东 Guangdong	152743	1267.36	503.47	69.44	青海 Qinghai	713750	17.36	0	0
陕西 Shaanxi	202188	1250	434.03	52.08	北京 Beijing	17378.5	17.36	0	0
广西 Guangxi	206563	2031.25	590.28	52.08	黑龙江 Heilong jiang	542361	17.36	0	0
江苏 Jiangsu	95781.3	815.97	243.06	52.08	台湾 Taiwan	30954.9	69.44	17.36	0
贵州 Guizhou	157025	1927.08	625	52.08	宁夏 Ningxia	52812.5	0	0	0
河南 Henan	166025	694.44	138.89	34.72	天津 Tianjin	12222.2	0	0	0
安徽 Anhui	132188	105.09	295.14	34.72	吉林 Jilin	212830	69.44	34.72	0
山东 Shandong	15144.1	659.72	312.5	34.72	新疆 Xinjiang	1754010	86.81	34.72	0
甘肃 Gansu	413854	364.58	138.89	34.72	西藏 Xizang	1142550	260.42	86.81	0

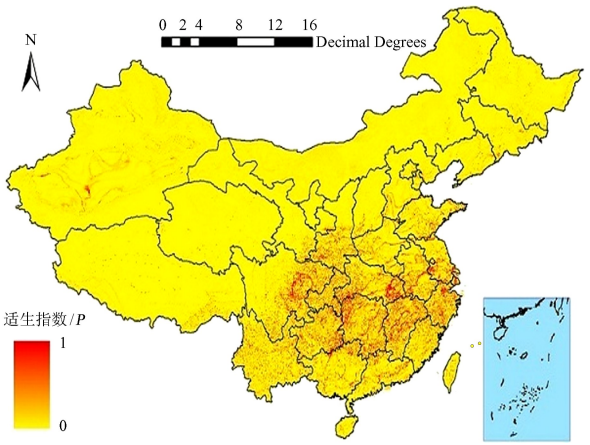

图 2 中国白及潜在分布

Fig. 2 Potential distribution of *Bletilla striata* in China

3 结论与讨论

本研究基于 MaxEnt 模型与 ArcGis 软件，结合白及地理分布信息和影响白及分布的主导气象因子，预测了中国白及的潜在分布，获得了白及的潜在适生区，所建模型经 ROC 曲线验证，AUC>0.9，表明预测效果非常好，能较准确的反映中国白及潜在分布情况。研究结果既可为制定白及资源保护措施提供借鉴，也可在做好白及优良品种选育的基础上，为白及人工栽培区域规划提供一定的理论指导。

本研究表明，白及潜在适生区主要位于秦岭、淮河以南部分地区，包括云贵高原、成都平原、长江中下游地区和珠江三角洲地区。白及主要适生区集中于湖北省东部的武汉市、黄陂县一带，东南部的阳新县、通山县一带以及西南部的鹤峰县，湖南省西北部的桑植县、龙山县、永顺县、大庸市境一带，江西省中部的峡江县、安福县境内，浙江北部的余杭县、杭州市、萧山市、德清县、诸暨市。王晓敏等（2011）的研究表明，白及主要分布于我国的陕西、甘肃、江苏、浙江、安徽、江西、福建、湖北、湖南、四川和贵州等地。周涛等（2008）研究表明白及主要分布于我国长江流域及其以南地区，如浙江、江西、湖北、湖南、四川、云南等地区均有分布，中国白及的主产区是贵州的安龙、水城、兴义，四川的内江、温江、西吕地区的木里藏族自治州，湖南的大庸、桑植，湖北的咸宁、鹤峰，安徽的

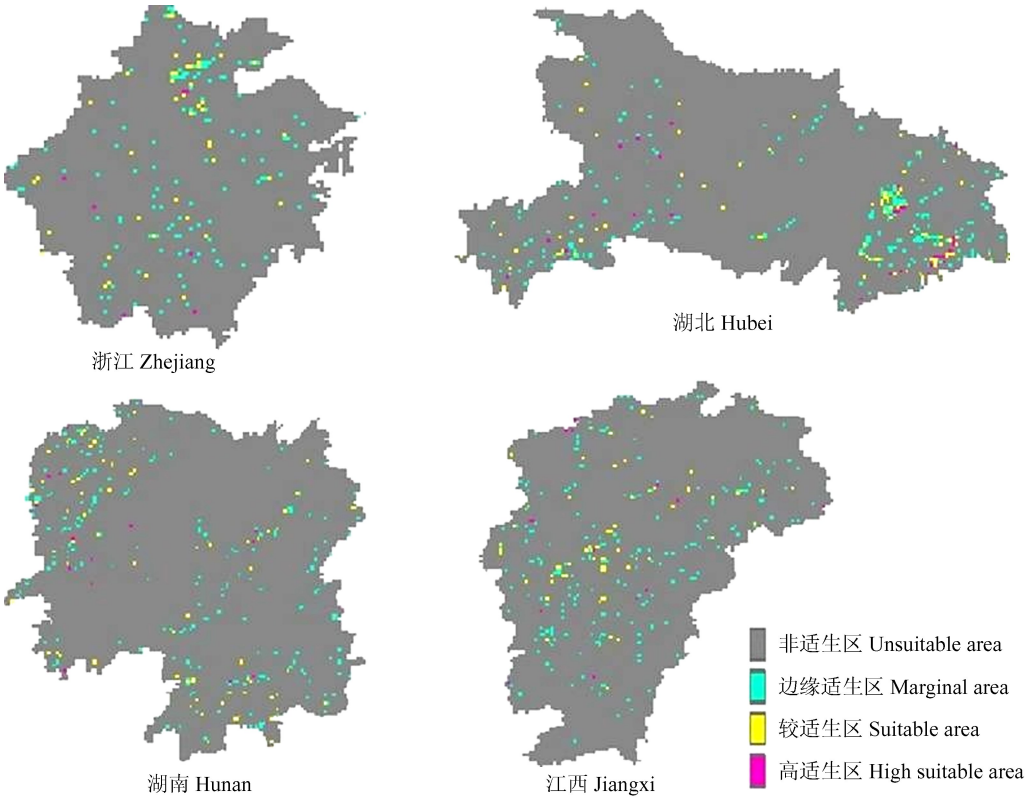

图 3 湖北、湖南、江西、浙江四省的白及适生等级

Fig. 3 The suitable scales of *Bletilla striata* in Hubei, Hunan, Jiangxi and Zhejiang

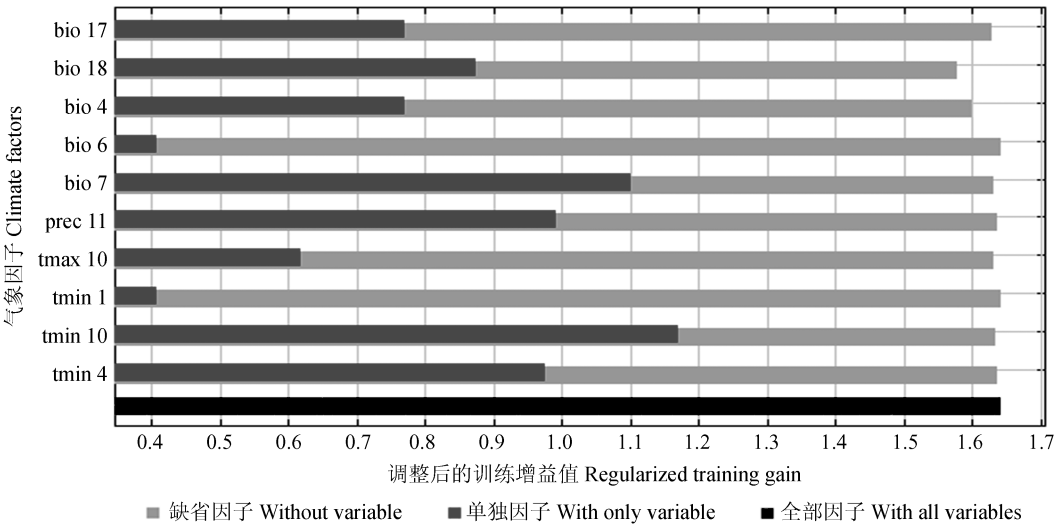

图 4　气象因子刀切法分析

bio 4，bio 6，bio 7，bio 11，bio 17 分别指温度季节性变化系数，最冷月最低温，年温度变化范围，最冷季度平均温度，最干季度降水量；prec 11 指 11 月降水量；tmax 10 指 10 月最高温；tmin 1，tmin 4，tmin 10 分别指 1 月，4 月，10 月最低温

Fig. 4　The jacknife test of climate factors

Bio 4, bio 6, bio 7, bio 11, bio 17 are respectively for Temperature seasonality, Minimum temperature of coldest month, Temperature annual range, Mean temperature of coldest quarter, Precipitation of driest quarter. Prec 11 is for Precipitation of Nov. Tmax 10 is for Max temperature of Oct. Tmin 1, Tmin 4, Tmin 10 are respectively for Min temperature of Jan, Apr and Oct

滁县、池州，浙江的临泫，江苏的江宁及陕西的渭南等地。除贵州、江苏和陕西外，这与本研究结果基本吻合，出现这种差异可能主要是由于划分白及主要适生区所选择的划分标准和研究方法不同。

在我国的大多数地区，白及假鳞茎于 2 月出芽，4 月开花，花后进入快速生长期，在秋季，V 形鳞茎开始营养器官的分化，冬季倒苗。本研究得出的影响白及潜在分布的气象因子的重要性与白及实际生长发育规律一致。4 月份温度过低会严重影响白及的生殖生长，进而影响其挂果与后续的生长。温度的季节性变化会影响白及物候期，尤其是影响其年生长期，当年温度变化范围较大时会缩短白及年生长期，使其生长发育受阻，这可能是 bio 7 作为最主要环境因子和 bio 4 含有影响白及分布的重要信息的原因。在 10-11 月，白及假鳞茎膨大长成 V 型，且 V 型假鳞茎两个尖端开始花和叶的分化并长成可见的芽，温度过低会阻碍白及营养器官的分化及芽的形成，而适量的水分却与过低温度作用相反，故在此期间最低温度 tmin 10 和 prec 11 会制约白及后期的生长发育。6 月白及处于快速生长期，该月最低温度相对其他月份较高，因此，bio 6 对白及的生长影响较小。1 月白及处于休眠期，土壤温度相对于地面温度较高，土壤能对其假鳞茎起到保护作用，故 tmin 1 对白及后续的发芽与生长影响较小。夏季白及处于快速生长期，该季节降水量的多少将制约白及假鳞茎的膨大及其他营养器官的生长，这充分说明了 bio 18 含有影响白及分布的重要信息。

本研究选择了 131 处“出现点”数据，其中训练集为 131 处，可满足预测精度的要求（Phillips 和 Dudík，2008；Wisz 等，2008）。而且在实际应用中 MaxEnt 模型大都较同类其他模型效果优良（Li 等，2008；王运生等，2007）。与采用距离物种实际分布最近气象台站的气候资料代替物种实际分布地点的气候资料研究物种分布与气候关系的方法相比（洪必恭和李绍珠，1981；倪健和宋永昌，1997），本研究所建模型经过了 ROC 曲线评价，并且利用 ArcGis 软件分析处理数据，使物种分布数据和气候数据在每栅格单元上相对应，有效地提高了数据的准确性，使得研究出现的误差尽可能降低。然而，MaxEnt 模型反映的是物种的基础生态位，可以看作是一种偏生态位模型（Wiley 等，2003），理想状态下的分布几乎不可

能发生，这时可能发生预测面积比实际分布面积大的现象；另一方面，由于植物的自适应性、人为影响等原因，使植物在超出原来基础生态位的地区也能生存，此时模拟物种分布面积比实际分布面积小（段居琦和周广胜，2011）。如何利用最优的生态位模型和最适量的物种分布数据以及最恰当的环境因子数据，并且考虑到人类活动等因素的影响，得到最接近物种真实分布的结果，这是我们今后研究工作中急需解决的问题。

致谢 感谢科技部科技惠民计划项目和上海市绿化和市容管理局科学技术项目对本研究的大力支持。

〔参 考 文 献〕

曹向锋，2007. 外来入侵植物黄顶菊在中国潜在适生区预测及其风险评估［D］. 南京：南京农业大学，1—83

武广华，臧益秀，刘运祥等，2001. 中国卫生管理词典［M］. 北京：中国科学技术出版社，9

周涛，江维克，魏升华等，2008. 野生白及的资源调查和利用现状分析//中华中医药学会第九届中药鉴定学术会议论文集［C］，浙江，260—269

Duan JQ（段居琦），Zhou GS（周广胜），2011. Potential distribution and climate characteristics of *Oryza sativa* in China［J］. *Acta Ecologica Sinica*（生态学报），**31**（22）：6659—6668

Feng YM（冯益明），Liu HX（刘洪霞），2010. Potential Suitability Analysis of *Rhynchophorus ferrugineus*（Olvier）in China Based on Maxtent and GIS［J］. *Journal of Huazhong Agricultural University*（华中农业大学学报），**29**（5）：552—556

Feng YM（冯益明），Liang J（梁军），Lu Q（吕权）*et al.*，2009. Potential Suitability Analysis of *Hemiberlesia pityophila* Takagi in China［J］. *Forest Research*（林业科学研究），**22**（4）：563—567

Guo SL（郭水良），Gao PL（高平磊），Lou YX（娄玉霞），2011. Prediction of potential invasive range of quarantine weed *Lactuca serriolain* in China by MaxEnt model［J］. *Journal of Shanghai Jiaotong University*（Agricultural Science）（上海交通大学学报农业科学版），**29**（5）：15—19

He ZJ（和志娇），Lu LF（吕丽芬），Yang LY（杨丽云）*et al.*，2008. Genetic diversity of *Bletilla* Rchb. f. germplasms by ISSR analysis［J］. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*（西南农业学报），**21**（4）：1081—1085

Hong BG（洪必恭），Li SZ（李绍珠），1981. The preliminary study of the correlations between the distribution of main every green broad-leaf tree species in Jiangsu and climate［J］. *Acta Ecologica Sinica*（生态学报），**1**（2）：105—111

IPCC，2007. Climate Change 2007：Sythesis Report. Contribution of Working Groups I，II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change（Core Writing Team，Pachauri，R. K. and Reisinger，A. eds.）IPCC，Geneva，Switzerland，1—104

Li MY，Ju YW，Sunil Kumar *et al.*，2008. Modeling potential habitats for alien species *Dreissena polymorpha* in Continental USA［J］. *Acta Ecologica Sinica*，**28**（9）：4253—4258

Nabout JC，Soares TN，Diniz-Filho JAF *et al.*，2010. Combining multiple models to predict the geographical distribution of the Baru tree（*Dipteryx alata* Vogel）in the Brazilian Cerrado［J］. *Ecology*，**30**（11）：911—919

Ni J（倪健），Song YC（宋永昌），1997. Relationships between geographical distribution of Cyclobalanopsis glauca and climate in China［J］. *Acta Botanica Sinica*（植物学报），**39**（5）：451—460

Phillips SJ，Dudik M，Schapire RE，2004. A maximum entropy approach to species distribution modeling//Proceedings of the 21 st International Conference on Machine Learning，Banff，Canada

Phillips SJ，Andetson RP，Schapire RE，2006. Maximum entropy modeling of species geographic distribution［J］. *Ecological Modelling*，**190**：231—259

Phillips SJ，Dudík M，2008. Modeling of species distributions with MaxEnt：new extensions and a comprehensive evaluation［J］. *Ecography*，**31**（2）：161—175

Qi XZ（齐增湘），Xu WH（徐卫华），Xiong XY（熊兴耀），2011. Assessment of potential habitat for *Ursus thibetanus* in the Qinling Mountains［J］. *Biodiversity Science*（生物多样性），**19**（3）：343—352

Ren HZ（任华忠），He YM（何毓敏），Yang L（杨丽），2009. Research progress of chemical composition and pharmacological activity in *Bletilla striata*（thunb.）Reichb Z［J］. *Asia-Pacific Traditional Medicine*（亚太传统医药），**5**（2）：134—139

Shi J（石晶），Luo YB（罗毅波），Song XQ（宋希强）*et al.*，2010. Commercial investigation of *Bletilla*（Orchidaceae）in China［J］. *Chinese Horticulture Abstracts*（中国园艺文摘），**8**：48—50

Wang XM（王晓敏），Wu MK（吴明开），Luo XQ（罗晓青），2011. Present Situation and Prospect of *Bletilla striata*［J］. *Guizhou Agricultural Sciences*（贵州农业科学），**39**（3）：42—45

Wang Y SH（王运生），Xie BY（谢炳炎），Wan FH（万方浩）*et al.*，2007. Application of ROC curve analysis in evaluating the performance of alien species' potential distribution models［J］. *Biodiversity Science*（生物多样性），**15**（4）：365—372

Wisz MS，Hijmans RJ，Li J *et al.*，2008. Effects of sample size on the performance of species distribution models［J］. *Diversity and Distributions*，**14**（5）：763—773

Wiley EO，McNyset KM，Peterson AT *et al.*，2003. Niche modeling and geographic range predictions in the marine environment using a machine-learning algorithm［J］. *Oceanography*，**16**（3）：120—127